

EUV-PROJEKTIONSOBJEKTIV MIT SPIEGELN AUS MATERIALIEN MIT UNTERSCHIEDLICHEM
VORZEICHEN DER STEIGUNG DER TEMPERATURABHÄNGIGKEIT DES WÄRMEAUSDEHNUNGSKOEFFI-
ZIENTEN NAHE DER NULLDURCHGANGSTEMPERATUR

Die Erfindung betrifft ein Projektionsobjektiv für kurze Wellenlängen, insbesondere für Wellenlängen $\lambda < 157$ nm, mit mehreren Spiegeln, welche zu einer optischen Achse positionsge-
nau angeordnet sind, und wobei die Spiegel Multilayerschich-
ten aufweisen. Des weiteren betrifft die Erfindung eine Pro-
jektionsbelichtungsanordnung für die EUV-Lithographie sowie
ein röntgenoptisches Subsystem für Röntgenstrahlen der Wel-
lenlänge λ_R .

Projektionsobjektive, welche im extremen Ultraviolettbereich
eingesetzt werden, werden mit weicher Röntgenstrahlung durch-
strahlt. Der Wellenlängenbereich liegt hier bei 10 bis 30 nm.
Für das dabei eingesetzte extreme UV-Licht sind die für die
Optik bisher nutzbaren Werkstoffe undurchsichtig, wobei die
abbildenden Strahlen nicht mehr per Brechung durch Linsen ge-
führt werden, sondern nur noch Spiegel eingesetzt werden kön-
nen. Die eingesetzten Spiegel sollten eine möglichst hohe Re-
flektivität im EUV-Bereich aufweisen. Derartige Spiegel um-
fassen ein Substrat, welches mit einem Mehrschichtsystem,
einem sogenannten Multilayer, versehen ist. Dieser erlaubt
die Realisierung von Spiegeln mit hoher Reflektivität im
Röntgenbereich bei nicht streifendem Einfall, also von normal
incidence Spiegeln (senkrechter Einfall). Für derartige Mehr-
schichtsysteme können Schichtsysteme, beispielsweise mit
Mo/Si (Molybdän/Silizium), Mo/Be (Molybdän/Beryllium), Mo-
Ru/Be-Schichtstapeln mit 40 bis 100 Schichtpaaren verwendet
werden, wobei hierdurch im EUV-Bereich mit $\lambda = 10$ bis 20 nm
Spitzenreflektivitäten von 70 bis 80 % erreicht werden kön-

nen. Je nach Wellenlänge des zu reflektierenden Lichtes können unterschiedliche Schichtsysteme zum Einsatz kommen.

Durch phasengerechte Überlagerung und konstruktive Interferenz der an den einzelnen Schichten reflektierten Teilwellenfronten kann eine hohe Reflektivität der Schichtstapel erreicht werden. Die Schichtdicken sollten dabei allerdings typischerweise im Sub-Angström-Bereich ($< 0,1 \text{ nm}$) kontrolliert werden.

Multilayerbeschichtete Röntgenspiegel werden nahe senkrechtem Einfall betrieben und werden den mit einfacheren Schichten belegten Spiegeln mit streifendem Einfall (grazing incidence) immer dann vorgezogen, wenn hohe Abbildungsgüte durch geringe Aberrationen, vorzugsweise in abbildenden Systemen, gefordert wird. Die Reflektivität von grazing incidence-Spiegeln lässt sich aber dennoch durch Aufbringen eines Multilayers weiter erhöhen.

Für Spiegel, insbesondere Röntgenspiegel, eines EUVL-Projektionsobjektives bzw. Projektionssystems sollten die nachfolgend beschriebenen Eigenschaften gleichzeitig erfüllt sein, welche eine maskengetreue Übertragung der Strukturen auf den Wafer garantieren sowie einen hohen Kontrast der Abbildung und eine hohe Reflektivität der Spiegelschicht ermöglichen.

Als erste Eigenschaft wäre eine gute Feinpasse (figure), also Fehler im niedrigen Ortsfrequenzbereich, zu erwähnen. Hierunter werden im allgemeinen Strukturgrößen zwischen $1/10$ der durch die einzelnen Bildpunkte zugeordneten Bündelquerschnitte bis zu einem freien Durchmesser des Spiegels verstanden.

Dies bedeutet, dass die Fehler Lateralausdehnungen in einer Größenordnung von einem Millimeter bis mehrere Dezimeter haben. Derartige Fehler führen zu Aberrationen und reduzieren damit die Abbildungstreue und beschränken die Auflösungsgrenze des Gesamtsystems.

Des weiteren sollten die Röntgenspiegel eine geringe Rauigkeit im MSFR (mid spatial frequency roughness)-Bereich (mittlerer Ortsfrequenzbereich) aufweisen. Derartige Ortswellenlängen kommen typischerweise im Bereich zwischen ca. 1 μm und ca. 1 mm vor und führen zu Streulicht innerhalb des Bildfeldes und dadurch zu Kontrastverlusten in der abbildenden Optik.

Notwendige Voraussetzungen für das Erreichen hoher Reflektivitäten sind hinreichend geringe Schicht- und Substratrauheiten im sogenannten HSFR (high spatial frequency roughness)-Bereich. Der HSFR-Bereich führt je nach Sichtweise zu Lichtverlusten durch Streuung außerhalb des Bildfeldes der Optik bzw. durch Störungen der mikroskopisch phasenrichtigen Überlagerung der Teilwellenzüge. Der relevante Ortswellenlängenbereich ist nach oben hin durch das Kriterium Streuung außerhalb des Bildfeldes begrenzt und liegt anwendungsabhängig bei EUV-Wellenlängen im Bereich von einigen μm . Am hochfrequenten Limit wird im allgemeinen keine Grenze definiert. Hierbei kann ein sinnvoller Richtwert im Bereich der halben Wellenlänge des einfallenden Lichtes angegeben werden, da noch höhere Ortsfrequenzen von den einfallenden Photonen nach den bisher bekannten Erkenntnissen nicht mehr gesehen werden können. Die HSFR kann mit den bekannten Atomic-Force Mikroskopen (AFM) vermessen werden, welche die nötige laterale und vertikale Auflösung aufweisen. In Projektionsoptiken müssen sowohl

figure als auch die MSFR und die HSFR innerhalb weniger Angström rms (root mean square - quadratischer Mittelwert) kontrolliert werden.

Des weiteren sollten für die Röntgenspiegel Materialien eingesetzt werden, welche einen möglichst geringen thermischen Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweisen, wie beispielsweise ZERODUR® oder ULE®. Somit kann die Oberflächenform des Spiegels auch im Betrieb unter thermischen Lasten stabil gehalten werden. Auch einkristallines Silizium wäre als Träger einsetzbar, da es sehr geringe Rauigkeiten zulässt. Des weiteren lässt sich in Silizium der höhere Wärmeausdehnungskoeffizient durch die deutlich höhere Wärmeleitfähigkeit und eine geeignete Kühlung teilweise kompensieren. Jedoch weist Silizium eine mechanische Anisotropie auf und ist im allgemeinen aufgrund der geforderten Einkristallinität nur für kleine Spiegelgrößen einsetzbar. Des weiteren ist ein wesentlicher Nachteil der vergleichsweise hohe Preis des einkristallinen Materials. Daher wird Silizium nur bei sehr hohen thermischen Lasten, beispielsweise in Beleuchtungssystemen, zum Einsatz kommen.

Es hat sich gezeigt, dass bisher nur geeignete glaskeramische Materialien, z.B. Schott: ZERODUR®, Ohara: CLEARCERAM-Z®, oder auch amorphe Titan-Silikatgläser, z.B. Corning: ULE®, für derartige Spiegel in Frage kommen, da diese einen thermischen Wärmeausdehnungskoeffizienten (CTE) besitzen, welcher bei einer bestimmten Temperatur, welche auch als zero crossing temperature (ZCT) bezeichnet wird, zum Verschwinden gebracht werden kann. Bei finiten, lokalen und globalen Abweichungen der Betriebstemperatur von der zero crossing temperature verschwindet der thermische Wärmeausdehnungskoeffizient aller-

dings nicht vollständig und es kommt somit zu einer Deformation der Oberfläche. Die Toleranzen für diese Deformationen liegen für globale, homogene Deformationen des Spiegels bei ca. 100 nm, für lokale örtlich variierende Deformationen im Bereich von 50pm - 200pm. Bei Durchführung von Simulationen hat sich gezeigt, dass insbesondere Verzeichnungsfehler des Projektionsobjektives, wobei die darin enthaltenen optischen Komponenten entweder nur aus ULE® oder nur aus ZERODUR® bestehen, so empfindlich auf Thermallasten reagieren, dass sie während des Betriebes durch kostspielige Manipulatoren unter Inkaufnahme von Totzeiten kompensiert werden müssen.

Bei Verwendung der derzeit eingesetzten Materialien wird die erreichbare Systemgüte im Hinblick auf Röntgenoptiken in unterschiedlicher Weise stark beeinträchtigt.

Bezüglich den Projektionsoptiken für die EUV-Lithographie und den eingesetzten röntgenoptischen Komponenten wird auf die DE 100 37 870 A1 und auf die US 6,353,470 B1 verwiesen, deren Aussagen vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung mit aufgenommen werden.

Das Titan-Silikatglas, auch bekannt als ULE®, wird speziell in der WO 01/08163 A1 für Projektionsobjektive in der EUV-Lithographie angegeben. In diesem Dokument wird ein Projektionslithographieverfahren zur Herstellung von integrierten Schaltungen und erzeugten Mustern mit extrem kleinen Objektdimensionen beschrieben. Ein Beleuchtungsteilsystem beleuchtet mit Röntgenstrahlung eine Maske bzw. ein Reticle. Ein Projektionsteilsystem weist reflektive, multilayerbeschichtete Titan-Silikatgläser auf, welche eine fehlerfreie Oberfläche besitzen. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren werden die

Titan-Silikatgläser mittels der Röntgenstrahlung auf eine Betriebstemperatur erhitzt, wobei vorzugsweise das Titandotierungssubstanzniveau derart reguliert wird, dass das Glas einen thermischen Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweist, welcher bei der Betriebstemperatur sich um Null zentriert. Das hier angegebene Titan-Silikatglas weist somit eine Variation des thermischen Wärmeausdehnungskoeffizienten von ≤ 10 ppb auf.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Projektionsobjektiv der eingangs erwähnten Art unter Vermeidung der Nachteile des Standes der Technik zu schaffen, bei dem die gesamte Abbildungsgüte auch bei Temperaturerhöhungen verbessert und die Streulichtcharakteristik optimiert wird.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, dass wenigstens zwei unterschiedliche Spiegelmaterialien, die sich in der Steigung des Wärmeausdehnungskoeffizienten als Funktion der Temperatur im Bereich des Nulldurchgangs der Wärmeausdehnungskoeffizienten, insbesondere im Vorzeichen der Steigung, unterscheiden, vorgesehen sind, wobei vorteilhafterweise ein Einsatz in einem EUV-Bereich mit Wellenlängen $\lambda < 20$ nm vorgesehen ist.

Bei derartigen Wellenlängen von $\lambda < 20$ nm wird das Projektionsobjektiv mit Spiegeln aufgebaut, welche die Lichtstrahlung reflektieren. Der Aufbau des Projektionsobjektives mit wenigstens zwei unterschiedlichen Spiegelmaterialien, wobei die Spiegelmaterialien einen sehr kleinen thermischen Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweisen, ist dahingehend von Vorteil, dass durch eine geeignete Zuordnung der Materialien zu den einzelnen Spiegeln die Bildfehler des Projektionsobjektives

auf lokale und globale Temperaturerhöhungen so ausbalanciert bzw. kompensiert werden können, dass die resultierenden Effekte minimiert werden. Durch die geeignete Anordnung der Spiegelmaterialien in dem Projektionsobjektiv kann das Projektionsobjektiv mit stärkeren Lichtquellen betrieben werden, was demzufolge einen höheren Waferdurchsatz und damit eine gesteigerte Produktivität garantiert. Andererseits kann bei fester Thermallast die Anforderung an den thermischen Wärmeausdehnungskoeffizienten (CTE) der Materialien gesenkt werden, was demzufolge eine höhere Gutausbeute und damit ökonomischeren Einsatz der Materialien ermöglicht.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung kann vorsehen, dass wenigstens ein Spiegel aus einem glaskeramischen Material und wenigstens ein Spiegel aus einem amorphen Titan-Silikatglas vorgesehen ist.

Die Wärmeausdehnungskoeffizienten von einem glaskeramischen Material und einem amorphen Titan-Silikatglas sind so klein, dass diese bei einer bestimmten Temperatur zum Verschwinden gebracht werden können. Unter Einsatz derartiger Materialien als Spiegelsubstrate bei einer richtigen Zuweisung der Materialien zu den Spiegeln können Bildfehler wesentlich minimiert und die Gesamtsystemgüte verbessert werden.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgen anhand von prinzipmäßigen Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigt:

- Figur 1 eine prinzipmäßige Darstellung eines 6-Spiegel-Projektionsobjektives, wie aus der DE 100 378 70 A1 bekannt;
- Figur 2 eine Darstellung der Abhängigkeit des CTE(T) von der Temperatur im Bereich der zero crossing temperature (ZCT)
- Figur 3 eine graphische Darstellung der Sensitivitäten der Abbildungsfehler ohne Manipulatorkorrektur;
- Figur 4 eine graphische Darstellung der Kompensation von thermisch induzierten Bildfehlern mittels Manipulatoren; und
- Figur 5 eine graphische Darstellung einer Materialmixoptimierung für die Verzeichnung (NCE).

Figur 1 zeigt ein aus dem Stand der Technik, z.B. gemäß DE 100 37 870 A1 bekanntes, beispielhaftes 6-Spiegel-Projektionsobjektiv 1 bei Einsatz im EUV-Bereich mit Wellenlängen $\lambda < 157$ nm, insbesondere $\lambda < 20$ nm, wobei sich ein Objekt O in einer Objektebene 2 befindet. Hierbei stellt das abzubildende Objekt O eine Maske bzw. ein Reticle in der Lithographie dar. Das Objekt O wird über einen ersten Spiegel M1, einen zweiten Spiegel M2, einen dritten Spiegel M3, einen vierten Spiegel M4, einen fünften Spiegel M5 und einen sechsten Spiegel M6 in eine Bildebene 3 abgebildet. In der Bildebene 3 ist in der Lithographie beispielsweise ein Wafer angeordnet. Bei den sechs Spiegeln M1, M2, M3, M4, M5 und M6

handelt es sich um asphärische Spiegel, wobei der erste Spiegel M1 als Konvexspiegel ausgebildet ist.

Eine Blende B begrenzt die das System 1 durchlaufende Strahlenbündel 4. Hierbei befindet sich die Blende B direkt auf dem zweiten Spiegel M2 bzw. in direkter Nähe des Spiegels M2. Das Gesamtsystem ist zu einer optischen Achse 5 zentriert angeordnet und weist in der Bildebene 3 einen telezentrischen Strahlengang auf. Des weiteren, wie in Figur 1 deutlich erkennbar, bildet sich zwischen dem vierten Spiegel M4 und dem fünften Spiegel M5 ein Zwischenbild Z aus. Dieses Zwischenbild Z wird wiederum über die Spiegel M5 und M6 in die Bildebene 3 abgebildet.

Die Wärmeausdehnungskoeffizienten (CTE) von geeigneten gläsern-keramischen Materialien, wie beispielsweise ZERODUR® oder ClearCeram-Z®, wie auch von amorphen Titan-Silikatgläsern, wie beispielsweise ULE®, können bei einer bestimmten und in gewissen Bereichen einstellbaren Temperatur, nämlich der Nulldurchgangstemperatur - zero crossing temperature (ZCT) - zum Verschwinden gebracht werden, wie in Figur 2 schematisch aufgezeigt. Allerdings unterscheiden sich die beiden Materialklassen unter anderem in der Abhängigkeit des Wärmeausdehnungskoeffizienten von der Temperatur im Bereich der zero crossing temperature. Ebenso ist auch der spezielle funktionale Verlauf des thermischen Wärmeausdehnungskoeffizienten bezüglich der Temperatur und der Verteilung von Inhomogenitäten unterschiedlich. Die zero crossing temperature sollte im Bereich zwischen 0 und 100°C, vorteilhafterweise zwischen 10 und 50°C liegen. Nahe der ZCT ist im Falle von ZERODUR® der

Term $\frac{d}{dT}CTE(T)$ negativ, während im Falle von ULE® der Term $\frac{d}{dT}CTE(T)$ positiv ist. Ein typischer Zielwert für den Absolutwert dieser Größe ist $\frac{d}{dT}CTE(T) = 1,6 \text{ ppb/K}^2$. Hierbei können jedoch die exakten Werte dieser Terme von den hier erwähnten abweichen, wobei jedoch der besondere Augenvermerk auf das unterschiedliche Vorzeichen der beiden CTE-Steigungen im Bereich der zero crossing temperature (ZCT) gelegt wird. Es sollten vorteilhafterweise Materialien verwendet werden, welche eine Steigung des Wärmeausdehnungskoeffizienten betragsmäßig unter 100 ppb/K^2 , insbesondere unter 10 ppb/K^2 , aufweisen. Besonders bevorzugt werden jedoch Materialien, welche eine Steigung des CTE von betragsmäßig unter 2 ppb/K^2 aufweisen, wie beispielsweise ZERODUR® oder ULE®.

Diese Eigenschaften der glaskeramischen Materialien, wie auch der amorphen Titan-Silikatgläser, können nun dazu genutzt werden, globale und lokale Temperaturerhöhungen so zu kompensieren, dass resultierende Effekte bzw. noch bestehende Abbildungsfehler minimiert werden. Dies geschieht durch eine geeignete Zuweisung der zwei unterschiedlichen Spiegelmaterialien, die sich in der Steigung des Wärmeausdehnungskoeffizienten als Funktion der Temperatur, insbesondere im Vorzeichen der Größe, unterscheiden, zu den einzelnen Spiegeln M1, M2, M3, M4, M5 und M6. Dazu werden zunächst mittels Finite-Elemente-Analysen die zu erwartenden Temperaturverteilungen und daraus wiederum die resultierenden Oberflächendeformationen ermittelt. Diese werden dann in einem optischen Strahlverfolgungsprogramm (z.B. Code V) den idealen Oberflächen überlagert und die resultierenden Abbildungsfehler bestimmt.

Durch eine Auswahl der Spiegel aus den richtigen Materialien können die am deutlichsten hervortretenden Abbildungsfehler, wie Verzeichnung (NCE), Bildfeldwölbung (FPD), Astigmatismus (AST), Koma (Zernike-Koeffizient 7/8), sphärische Aberration (Zernike-Koeffizient Z9) und der quadratische Mittelwert der Wellenfrontfehler (RMS) beeinflusst und die daraus entstehenden Effekte minimiert werden.

Durch ein Ausbalancieren der temperaturbedingten Abbildungsfehler durch den Einsatz von ZERODUR® und ULE® für die Spiegel kann das Gesamtprojektionsobjektiv 1 mit stärkeren Lichtquellen betrieben werden, was dazu führt, dass ein höherer Waferdurchsatz und eine gesteigerte Produktivität garantiert werden kann. Somit kann eine Zusammensetzung des Projektionsobjektivs 1 aus Spiegeln M1, M2, M3, M4, M5 und M6 erreicht werden, welche hinsichtlich ihrer Spiegelmaterialien thermalbedingte Bildfehler minimierend angeordnet sind.

ULE® ist verfahrensbedingt ein geschichtetes Material. Der Einsatz von ULE® verursacht durch die dadurch auftretenden Schlieren zumindest auf gekrümmten Flächen unter Umständen eine niederfrequente MSFR, welche wiederum zu einer Kleinwinkelstreuung führt. Eine derartige Streuung stört besonders stark auf pupillennahen Spiegeln, da sie sich in eine feldabhängige Nichtuniformität der Beleuchtungsstärke auf dem Wafer bzw. auf der Bildebene 3 auswirkt. Auf feldnahen Spiegeln führt die Kleinwinkelstreuung im wesentlichen zu Nichtuniformitäten in der Beleuchtungsstärke in der Pupille, das heißt der Winkelverteilung der Lichtstrahlen in einem Feldpunkt. Dieser Effekt ist wesentlich unkritischer einzustufen als die Nichtuniformität der Beleuchtungsstärke auf dem Wafer.

Die Kristallitstruktur von glaskeramischen Materialien, insbesondere ZERODUR®, wird von bestimmten Fertigungsverfahren (siehe hierzu WO 03/16233 A1 oder DE 101 27 086 A1) herauspräpariert und trägt vorzugsweise zu hochfrequenten MSFR-Anteilen und HSFR-Anteilen bei, das heißt, dass eine Weitwinkelstreuung verursacht wird. Daher ist es vorteilhaft, wenn das glaskeramische Material bzw. ZERODUR® vorzugsweise in Spiegeln verwendet wird, bei denen diese Ortsfrequenzen in Winkelbereiche streuen, die durch Vignettierung bzw. Ausblendung den Wafer nicht erreichen. Hierbei sollte das Material vorzugsweise in Spiegeln mit großen Bündelquerschnitten eingesetzt werden, wobei auch Spiegel im vorderen Teil, also im waferfernen Bereich, des Objektivs 1 angeordnet sein können, damit das Streulicht durch die Blende B oder die anderen Spiegel ausgeblendet wird, so dass es nicht bzw. minimiert in der Waferebene 3 ankommt. Somit kann durch eine geeignete Zusammensetzung der Spiegelmaterialien eine Optimierung der Streulichtverteilung in der Waferebene erreicht werden.

In Figur 3 sind die Sensitivitäten der oben genannten Abbildungsfehler in Verbindung mit der Zuweisung der Materialien zu den einzelnen Spiegeln M1, M2, M3, M4, M5 und M6 für ein beispielhaftes Objektiv relativ zu einem geeignet definierten Toleranzbereich dargestellt, wobei die Sensitivitäten der absoluten Fehler in nm, geordnet nach Kombinationen der Materialien ZERODUR® und ULE® angegeben sind. Die Kombinationen sind symmetrisch bezüglich eines gemeinsamen Vorzeichenwechsels der CTE(T)-Steigung auf allen Spiegeln M1, M2, M3, M4, M5 und M6. Das Pluszeichen steht für das Material ULE® und das Minuszeichen für das Material ZERODUR® im betreffenden angeordneten Spiegel.

Die Analysen wurden mit folgenden, beispielhaften, aber realitätsnahen Wärmelasten, welche die absorbierte Leistung der jeweiligen Spiegel darstellt, durchgeführt:

Spiegel	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Last (mW)	862	540	340	210	130	84

In diesen Rechnungen wurden die CTE-Inhomogenitäten (Ortsvariationen) nicht mit berücksichtigt.

Bezüglich der Figur 3 bedeutet eine Kombination von „++++-“ einen $\frac{d}{dT}CTE(T) = +1,6 \text{ ppb/K}^2$ auf den Spiegeln M1, M2, M3, M4

und M5 und einen $\frac{d}{dT}CTE(T) = -1,6 \text{ ppb/K}^2$ auf dem Spiegel M6.

Wenn von ein und dem selben Material für alle Spiegel M1 bis M6 ausgegangen wird, dann stellt das vom Standpunkt der nicht korrigierbaren Verzeichnung (non correctable error) eine schlechte Ausgangsposition dar, um diesen Bildfehler möglichst bestens zu korrigieren. Die Kombinationen „+++++“ und „-----“ sind fast 2,5 mal außerhalb des Toleranzbereiches. Bei einem geeigneten Materialmix kann jedoch eine fast 5 mal bessere Systemgüte erreicht werden.

Eine weitere Optimierung des Materialmixes kann durch die Anordnung von ULE®-Spiegeln in feldnahen und nicht in pupillennahen Bereichen vorgenommen werden. In einem derartigen 6-Spiegel-Projektionsobjektiv 1 kann ULE® vorzugsweise für die Spiegel M1, M3 und M4 eingesetzt werden.

In Figur 4 ist die Kompensation der thermisch induzierten Bildfehler durch Einsatz von Manipulatoren, die eine Ganzkörperbewegung der einzelnen Spiegel M1, M2, M3, M4, M5 und M6 während des Betriebes erlauben, dargestellt. Die Figur 4 zeigt, dass für beliebige Materialkombinationen durch Änderung der Abstände, der Dezentrierung und der Verkippung der Spiegel M1, M2, M3, M4, M5 und M6 alle Bildfehler innerhalb ihrer spezifizierten Toleranzbereiche kontrolliert werden können.

Nachteilig an dieser Kompensationsmethode ist einerseits der hohe Preis der Manipulatoren, die im allgemeinen ferngesteuert im Vakuum betrieben werden müssen, als auch die Totzeit der Waferbelichtungsanlage, die während des Betriebes durch die Messung und Kompensation der Bildfehler hervorgerufen wird. Durch die Totzeit kommt es zu Produktionseinbußen und damit zu erheblichen ökonomischen Einbußen.

In der Figur 5 ist eine Materialmixoptimierung für die Verzeichnung (NCE) graphisch dargestellt. Hierbei sind die Sensitivitäten ohne Manipulatorkorrektur aus Figur 4 nach NCE-Restfehlern geordnet dargestellt. In der Figur 5 ist im linken Bereich der Graphik der Materialmix dargestellt, welcher den geringsten NCE hervorbringt. Hierbei liefert beispielsweise ein Mix aus „+++--“ oder „---+“, wie erkennbar, den geringsten NCE. Bei einer derartigen ULE®-ZERODUR®-Kombination ist besonders deutlich zu erkennen, dass alle Bildfehler, NCE, FPD, AST, Z7/8, Z9 und RMS bereits ohne kostspielige Manipulatorkorrektur, wie aus Figur 5 ersichtlich, innerhalb des Toleranzbereiches zu finden sind.

Somit ist nun deutlich aufgezeigt, dass durch eine Materialkombination mit ULE®/ZERODUR® insbesondere die Verzeichnung (NCE) beeinflusst werden kann. Ebenso können auch andere Bildfehler durch eine derartige Materialkombination beeinflusst und minimiert werden.

Die angegebene Materialverteilung wurde für ein beispielhaftes System mit einer beispielhaften Temperaturverteilung bestimmt, ohne sich darauf zu beschränken. Für andere optische Systeme oder Temperaturverteilungen können sich im erfinderischen Sinne unterschiedliche optimale Materialkombinationen einstellen.

Es ist zu erwarten, dass räumliche Inhomogenitäten der CTE-Verteilung bei Temperaturänderungen zu Oberflächendehformationen führen werden. Diese werden das Frequenzverhalten der CTE-Variationen mehr oder weniger nachbilden. Bei Durchführung von Simulationen hat sich jedoch gezeigt, dass im wesentlichen nieder- und mittelfrequente Fehler relevant sind (> 1 mm, MSFR bzw. der Formfehler). Ursache derartiger relevanter Fehler kann beispielsweise die thermische Deformation, welche proportional zur Domänengröße ist, sein. Andererseits kann die Ursache in den elastomechanischen Eigenschaften des Festkörpers selbst liegen, was zu einer verstärkten Dämpfung bei höheren Ortsfrequenzen führt. Die Frequenzverteilung dieser Inhomogenitäten ist materialabhängig, so dass auch hier eine Optimierung durchgeführt werden kann.

Es ist von einer Selbstverständlichkeit auszugehen, dass auch andere Materialien zur Optimierung von derartigen Bildfehlern denkbar wären. Ebenso sollte die Erfindung sich nicht nur auf EUVL-Komponenten beschränken. Je nach Thermal- und Streu-

lichtspezifikation kann es von Vorteil sein, bevorzugt reflektive Komponenten, beispielsweise eines 157nm-Lithographie-Systems, nach diesen Gesichtspunkten zu optimieren.

Patentansprüche:

1. Projektionsobjektiv für kurze Wellenlängen, insbesondere für Wellenlängen $\lambda < 157\text{nm}$, mit mehreren Spiegeln, welche zu einer optischen Achse positionsgenau angeordnet sind, und wobei die Spiegel Multilayerschichten aufweisen, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens zwei unterschiedliche Spiegelmaterialien, die sich in der Steigung des Wärmeausdehnungskoeffizienten als Funktion der Temperatur im Bereich des Nulldurchgangs der Wärmeausdehnungskoeffizienten, insbesondere im Vorzeichen der Steigung, unterscheiden, für die Spiegel vorgesehen sind.
2. Projektionsobjektiv nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Steigung der Wärmeausdehnungskoeffizienten betragsmäßig unter 100 ppb/K^2 , insbesondere unter 10 ppb/K^2 , vorgesehen ist.
3. Projektionsobjektiv nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Nulldurchgangstemperatur (zero crossing temperature) in einem Bereich zwischen 0 bis 100°C , insbesondere zwischen 10 bis 50°C , befindet.
4. Projektionsobjektiv nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch einen Einsatz im EUV-Bereich mit Wellenlängen $\lambda < 20\text{nm}$.
5. Projektionsobjektiv nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Spiegel (M1,M2,M3,M4,M5,M6) aus einem glaskeramischen Material und wenigstens ein Spiegel (M1,M2,M3,M4,M5,M6) aus einem amorphen Titan-Silikatglas vorgesehen ist.

6. Projektionsobjektiv nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das glaskeramische Material ZERODUR® ist.
7. Projektionsobjektiv nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das amorphe Titan-Silikatglas ULE® ist.
8. Projektionsobjektiv nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das glaskeramische Material für Spiegel mit großen Bündelquerschnitten vorgesehen ist.
9. Projektionsobjektiv nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das glaskeramische Material für Spiegel im waferfernen Objektivbereich vorgesehen ist.
10. Projektionsobjektiv nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Zusammensetzung aus Spiegeln (M1,M2,M3,M4,M5,M6), welche hinsichtlich ihrer Spiegelmaterialien thermalbedingte Bildfehler minimierend angeordnet sind.
11. Projektionsobjektiv nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Zusammensetzung aus Spiegeln (M1,M2,M3,M4,M5,M6), welche hinsichtlich ihrer Spiegelmaterialien derart angeordnet sind, dass eine Optimierung einer Streulichtverteilung in einer Waferebene (3) vorgesehen ist.
12. Projektionsobjektiv nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Zusammensetzung aus Spiegeln (M1, M2, M3, M4, M5, M6), welche hinsichtlich ihrer Spiegelmaterialien derart angeordnet sind, dass eine Minimierung von durch CTE-Inhomogenitäten verursachten Wellenfrontfehlern vorgesehen ist.

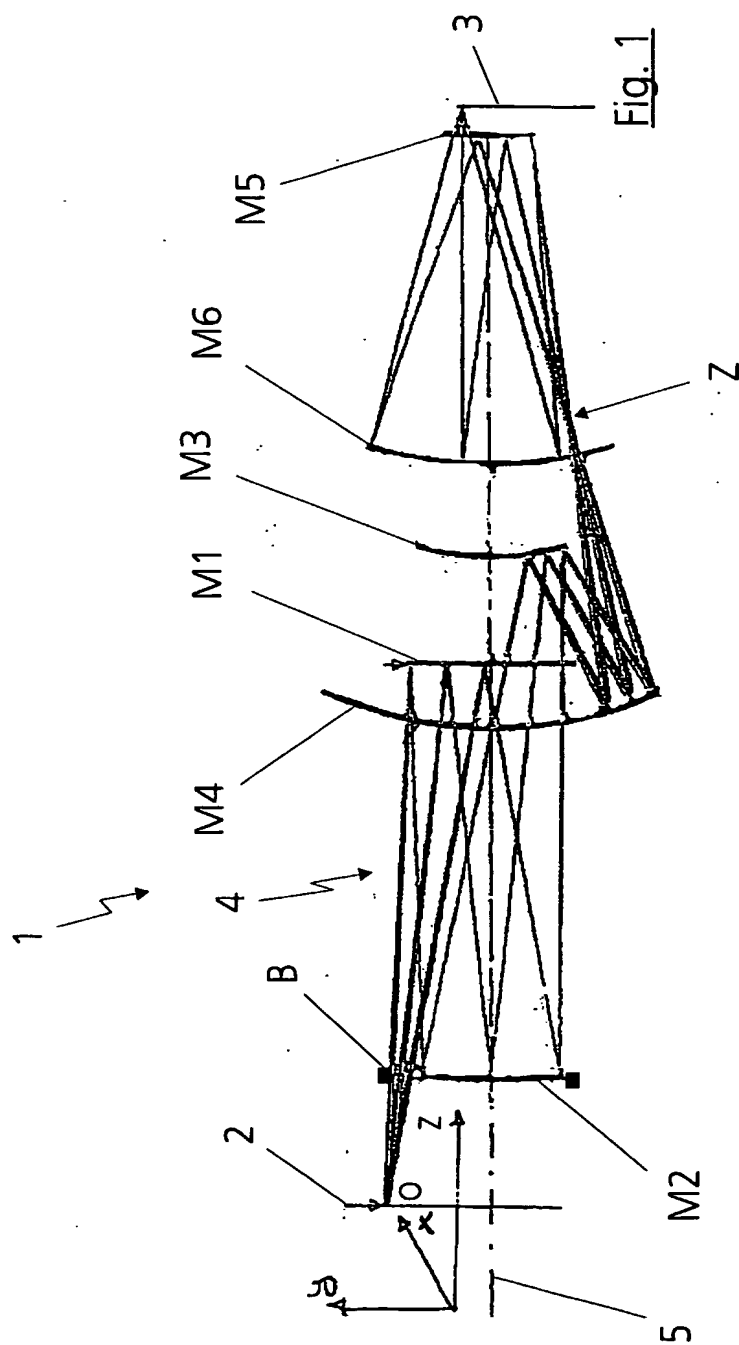
13. Projektionsbelichtungsvorrichtung für die EUV-Lithographie mit optischen Komponenten, insbesondere Spiegel, Reticle oder Strahlenteiler, dadurch gekennzeichnet, dass für die optischen Komponenten (M1,M2,M3,M4,M5,M6) wenigstens zwei unterschiedliche Substratmaterialien, die sich in der Steigung des Wärmeausdehnungskoeffizienten als Funktion der Temperatur im Bereich des Nulldurchgangs der Wärmeausdehnungskoeffizienten, insbesondere im Vorzeichen der Steigung, unterscheiden, vorgesehen sind.
14. Projektionsbelichtungsvorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass eine Steigung der Wärmeausdehnungskoeffizienten betragsmäßig unter 100 ppb/K^2 , insbesondere unter 10 ppb/K^2 , vorgesehen ist.
15. Projektionsbelichtungsvorrichtung nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Nulldurchgangstemperatur (zero crossing temperature) einen Bereich zwischen 0 bis 100°C , insbesondere zwischen 10 bis 50°C , aufweist.
16. Projektionsbelichtungsvorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine optische Komponente (M1,M2,M3,M4,M5,M6) aus einem glaskeramischen Material und wenigstens eine optische Komponente (M1,M2,M3,M4,M5,M6) aus einem amorphen Titan-Silikatglas vorgesehen ist.
17. Projektionsbelichtungsvorrichtung nach Anspruch 13, gekennzeichnet durch eine Zusammensetzung aus optischen Komponenten (M1,M2,M3,M4,M5,M6), welche hinsichtlich ih-

rer Substratmaterialien thermalbedingte Bildfehler mindernd angeordnet sind.

18. Projektionsbelichtungsvorrichtung nach Anspruch 13, gekennzeichnet durch eine Zusammensetzung aus optischen Komponenten (M1,M2,M3,M4,M5,M6), welche hinsichtlich ihrer Substratmaterialien derart angeordnet sind, dass eine Optimierung einer Streulichtverteilung in einer Waferebene (3) vorgesehen ist.
19. Projektionsbelichtungsvorrichtung nach Anspruch 13, gekennzeichnet durch eine Zusammensetzung aus optischen Komponenten (M1,M2,M3,M4,M5,M6), welcher hinsichtlich ihrer Substratmaterialien derart angeordnet sind, dass eine Minimierung von durch CTE-Inhomogenitäten verursachten Wellenfrontfehlern vorgesehen ist.
20. Röntgenoptisches Subsystem, insbesondere Spiegel, Reticle oder Strahlenteiler, für Röntgenstrahlung der Wellenlänge λ_R , gekennzeichnet durch wenigstens zwei unterschiedliche Substratmaterialien, die sich in der Steigung des Wärmeausdehnungskoeffizienten als Funktion der Temperatur im Bereich des Nulldurchgangs der Wärmeausdehnungskoeffizienten, insbesondere im Vorzeichen der Steigung, unterscheiden.
21. Röntgenoptisches Subsystem nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Wellenlänge $\lambda_R < 200$ nm, insbesondere $\lambda_R < 157$ nm ist.

22. Röntgenoptisches Subsystem nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass das Substratmaterial ein glaskeramisches Material ist.
23. Röntgenoptisches Subsystem nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass das Substratmaterial ein Titan-Silikatglas ist.
24. Röntgenoptisches Subsystem für ein Projektionsobjektiv gemäß einem der Ansprüche 8 bis 12.
25. Verwendung von röntgenoptischen Subsystemen nach einem der Ansprüche 20 bis 23 in der Röntgenmikroskopie, Röntgenastronomie oder Röntgenspektroskopie.

1/3



2/3

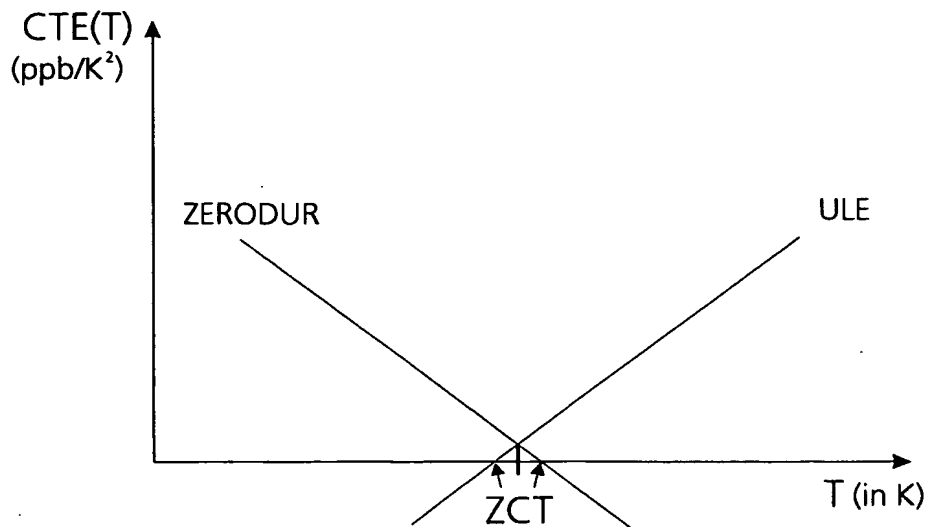


Fig. 2

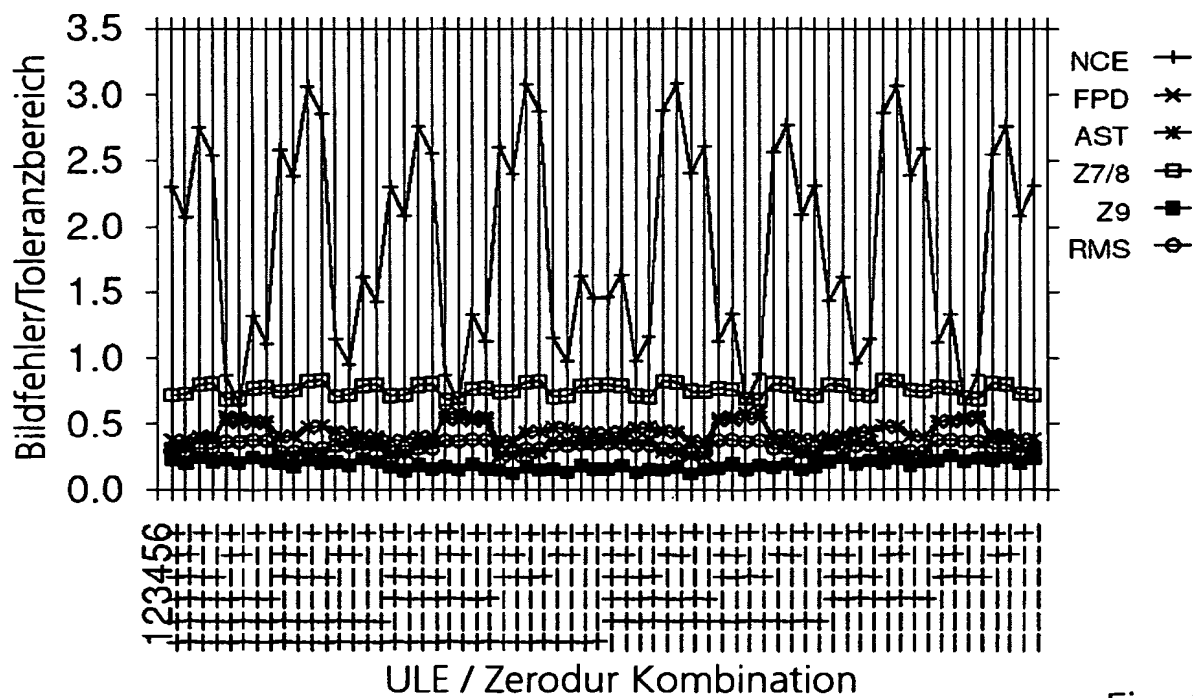


Fig. 3

3/3

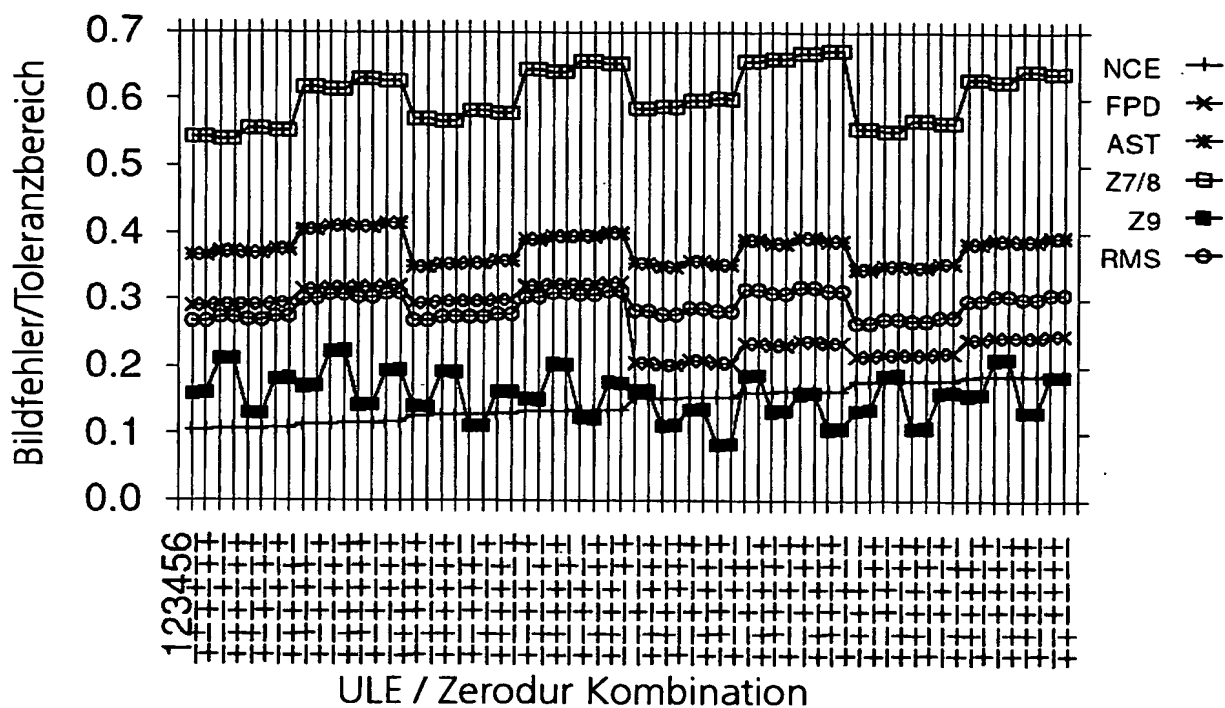


Fig. 4

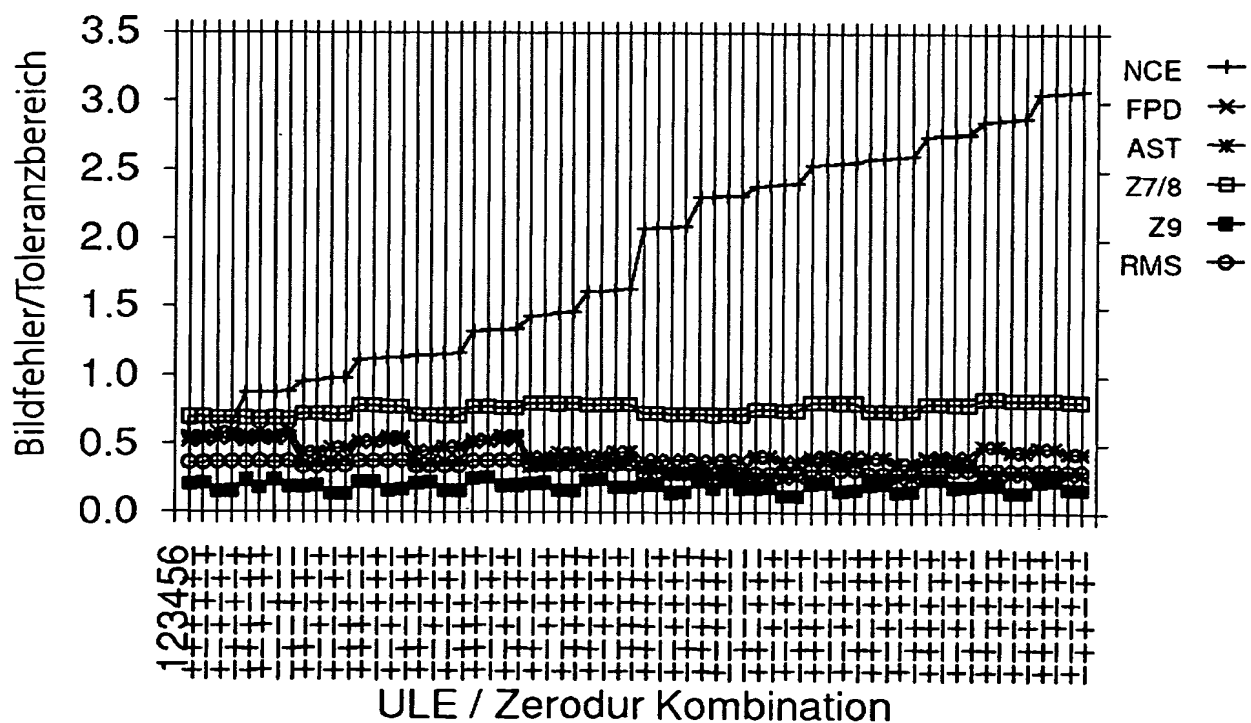


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP 03/10761

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G03F7/20 G02B17/06 G21K1/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G03F G02B G21K

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 100 37 870 A (ZEISS CARL) 14 February 2002 (2002-02-14) cited in the application the whole document	1-9, 11-16, 20-25
Y	US 5 265 143 A (EARLY KATHLEEN R ET AL) 23 November 1993 (1993-11-23) column 4, line 47 - page 5, line 2	1-9, 11-16, 20-25
A	US 2003/123037 A1 (BOX WILHELMUS JOSEPHUS) 3 July 2003 (2003-07-03) paragraphs '0011! - '0016!	1-25

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

G document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

3 February 2004

Date of mailing of the international search report

11/02/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Rödig, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP 03/10761

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 10037870	A	14-02-2002	DE 10037870 A1	14-02-2002
			EP 1178356 A2	06-02-2002
			JP 2002107630 A	10-04-2002
			TW 538257 B	21-06-2003
			US 2002056815 A1	16-05-2002
<hr/>				
US 5265143	A	23-11-1993	DE 69318279 D1	04-06-1998
			DE 69318279 T2	27-08-1998
			EP 0605966 A1	13-07-1994
			EP 0769787 A1	23-04-1997
			JP 2918781 B2	12-07-1999
			JP 6273604 A	30-09-1994
<hr/>				
US 2003123037	A1	03-07-2003	CN 1448795 A	15-10-2003
			EP 1318431 A1	11-06-2003
			JP 2003188097 A	04-07-2003
<hr/>				

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/10761

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G03F7/20 G02B17/06 G21K1/06

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 G03F G02B G21K

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 100 37 870 A (ZEISS CARL) 14. Februar 2002 (2002-02-14) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1-9, 11-16, 20-25
Y	US 5 265 143 A (EARLY KATHLEEN R ET AL) 23. November 1993 (1993-11-23) Spalte 4, Zeile 47 - Seite 5, Zeile 2 -----	1-9, 11-16, 20-25
A	US 2003/123037 A1 (BOX WILHELMUS JOSEPHUS) 3. Juli 2003 (2003-07-03) Absätze '0011! - '0016! -----	1-25



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

3. Februar 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

11/02/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel: (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Rödig, C

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationaler Aktenzeichen

PCT/EP 03/10761

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 10037870 A	14-02-2002	DE 10037870 A1	14-02-2002
		EP 1178356 A2	06-02-2002
		JP 2002107630 A	10-04-2002
		TW 538257 B	21-06-2003
		US 2002056815 A1	16-05-2002
US 5265143 A	23-11-1993	DE 69318279 D1	04-06-1998
		DE 69318279 T2	27-08-1998
		EP 0605966 A1	13-07-1994
		EP 0769787 A1	23-04-1997
		JP 2918781 B2	12-07-1999
		JP 6273604 A	30-09-1994
US 2003123037 A1	03-07-2003	CN 1448795 A	15-10-2003
		EP 1318431 A1	11-06-2003
		JP 2003188097 A	04-07-2003